心理学报 2018, Vol. 50, No.2, 168−175
Acta Psychologica Sinica DOI: 10.3724/SP.J.1041.2018.00168

错觉轮廓的适应效应*

张秀玲[1] 侯亚楠[1] 张福绪[1] 梅松丽[2] 康静梅[1]

([1]东北师范大学心理学院, 长春 130024) ([2]吉林大学公共卫生学院, 长春 130021)

摘 要 错觉轮廓反映知觉的主动建构过程, 考察其是否存在适应效应有助于理解视觉系统反馈调节的特性。我们采用 Kanizsa 这种典型的错觉轮廓来研究其适应过程, 结果发现：Kanizsa 错觉轮廓具有适应效应, 并且这种适应主要是由主观形成的整体轮廓造成的, 而不是由 Pac-Man 上的线条引起的。表明依赖于高级视觉皮层反馈调节的主观建构过程和自下而上的神经元信息一样, 会随呈现时间的增加, 神经活动减弱, 体现为适应效应。

关键词 Kanizsa 错觉轮廓; 适应; 反馈调节

分类号 B842

1 引言

适应是指由于刺激物的持续作用使得个体相关神经元发生敏感性变化的过程, 视觉适应的行为结果是使得对随后呈现的视觉物体的知觉产生偏差, 也称之为视觉后效。如倾斜后效(Gibson, 1937), 注视一条偏离垂直或水平方向的线段一定时间之后, 再看一条垂直或水平线段时, 觉得它向相反方向倾斜了。

视觉适应能够减弱适应刺激引起的神经活动强度, 因此成为了解神经系统结构的一个重要方法(Graham & Bell, 1989)。如对比度(Ross, Speed, & Morgan, 1993)、光栅朝向(Paradiso, Shimojo, & Nakayama, 1989; Wenderoth & Johnstone, 1988)、颜色和运动方向(Rentzeperis, Nikolaev, Kiper, & van Leeuwen, 2012)的适应说明视觉系统存在表征这些特征的特异性神经元。除了这些简单属性, 客体的某些高级属性也能够产生适应, 如面孔的朝向、性别、情绪(Fang & He, 2005; Kovács, Zimmer, Harza, & Vidnyánszky, 2007; Kovács et al., 2006; Walther, Schweinberger, & Kovács, 2013), 汽车朝向(Fang & He, 2005), 形状的长宽比、倾斜度、弯曲度、凹凸度 (Bell, Gheorghiu, Hess, & Kingdom, 2011; Gheorghiu, Bell, & Kingdom, 2013; Gheorghiu & Kingdom, 2007; Hancock & Peirce, 2008; Suzuki, 2003)等都具有适应效应。

客观世界中除了面孔、形状、汽车等客体外, 很多信息是离散的、断续的, 我们需要主动将其整合和建构成连贯的、有意义的客体(Ben-Av, Sagi, & Braun, 1992; Palmer, Brooks, & Nelson, 2003)。将这些空间上分开的和部分遮挡的信息通过建构整合成连贯的、统一的整体是视知觉的一个重要的功能, 也是知觉组织的一个重要方面。因此研究这种主动建构过程的适应对了解视觉系统的功能有重要意义。

这里我们通过错觉轮廓来考查主动建构过程的适应。错觉轮廓指的是人们在物理刺激为同质的视野中(没有亮度和颜色的变化)知觉到的轮廓(Schumann, 1900)。错觉轮廓有很多种, Kanizsa 错觉轮廓是由 Gaetano Kanizsa 于 1955 年提出的(Kanizsa, 1955), 它是最典型、最著名的错觉轮廓。如图 1, 白色背景上有三个带缺口的圆盘(被称之为吃豆人), 很多人能看到一个白色三角形, 突出在三个黑色圆盘之上, 这个白色三角形看起来比背景更亮。Kanizsa 错觉轮廓诱发形状知觉, 又被称之为

收稿日期: 2016-09-08

* 国家自然科学基金(31100730); 博士后科学基金(2013T60305)特别资助。

张秀玲和侯亚楠同为第一作者

通信作者: 张秀玲, E-mail: journeyonstars@126.com; 康静梅, E-mail: kangjm666@nenu.edu.cn

形状错觉轮廓。Kanizsa 错觉轮廓结构简单，并且可以在不改变物理刺激的条件下改变错觉轮廓的形状，这就排除了很多无关刺激的干扰，因此更适合于视觉的研究(Murray & Herrmann, 2013)。

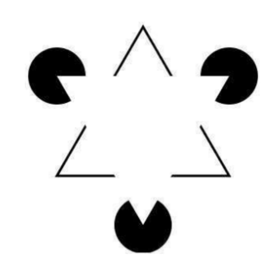


图 1　Kanizsa 错觉轮廓

注：几乎所有人都能看见一个在三个黑色圆盘之上的白色三角形，实质上，视野中只有三个吃豆人。

最近有研究者考察了知觉组织的适应过程，研究者用部分遮挡的移动菱形来诱导知觉组织，结果发现知觉组织具有适应效应，更重要的是特征水平的线条朝向后效更弱(He, Kersten, & Fang, 2012)。另一项关于知觉组织的适应研究以空间邻近的原点构成的线条(局部为圆点，形成的整体为具有朝向的线条)为刺激材料，发现将局部的圆点知觉成线条的组织过程早于朝向的适应过程，对线条朝向的适应是基于整体的而不是局部信息(Gheorghiu et al., 2013)。这两个研究都说明知觉组织的加工是一个自上而下的加工过程，而这种自上而下的加工过程具有适应效应。

与知觉组织相似，Kanizsa 错觉轮廓也需要将离散的部分整合成形状，都依赖自上而下的主动建构过程。不同的是在 Kanizsa 错觉轮廓中，被试会知觉到物理上不存在的线条。对 Kanizsa 错觉轮廓形状的判断更依赖主观线条的知觉，采用这种材料的适应研究有利于揭示出来自高级视觉皮层自上而下的反馈信息的适应特性。

以往关于错觉轮廓适应的研究使用的是邻接相移光栅(Montaser-Kouhsari, Landy, Heeger, & Larsson, 2007; Rajimehr, Montaser-Kouhsari, & Afraz, 2003)，这种类型的轮廓比 Kanizsa 类型的错觉轮廓受到更多的因素影响，如对比度、端点个数(Rajimehr et al., 2003)等。另外, Kanizsa 错觉形状轮廓和邻接相移光栅构成的错觉线条轮廓相比，激活的高级视觉皮层的范围更大，活动更强(Kok & Lange, 2014; Montaser-Kouhsari et al., 2007; Wokke, Vandenbroucke, Scholte, & Lamme, 2012)，提示 Kanizsa 错觉轮廓比邻接相移光栅更依赖基于高级视觉皮层的主动建构过程。

本文用 Kanizsa 这种典型的错觉轮廓来考察建构过程的适应，适应刺激为胖(+5°)或瘦(−5°)的错觉轮廓图，测验刺激也是胖或瘦的错觉轮廓图，只是胖或瘦的程度与适应刺激不同，要求被试判断测验图片的胖瘦。如果对于同一测验刺激，之前适应胖和瘦造成了判断的差异，则说明这种差异是由于适应经验造成的，可以得出错觉轮廓具有适应效应。由于这种错觉轮廓几乎完全依赖于我们人脑对轮廓的建构，可以反映出来自于高级视觉皮层的反馈信息的强度是否也会随时间发生衰减，即是否发生适应过程。

2　实验 1：错觉轮廓的适应

2.1　实验 1a：错觉轮廓的适应

2.1.1　被试

10 名被试，均为东北师范大学在读大学生，其中男生 5 人女生 5 人，被试的视力或者矫正视力正常，无类似实验经历。实验前，每个被试均签订知情同意书，实验结束后给予被试相应的报酬。

2.1.2　实验设计

实验采用 2(适应类型：胖/瘦)×3(测验类型：0°/+1.5°/−1.5°)的实验设计。因变量为被试判断的正确率, 0°的正确率为做出胖的判断的比率。

2.1.3　实验仪器与材料

实验程序使用心理学专用软件 E-prime 1.1 编写，在 Dell Optiplex755 计算机上运行，显示器为 21 英寸 Liyama MA203DT Vision Master Pro513，分辨率为 1024×768。使用 SPSS 17.0 对结果进行分析。

实验采用 Kanizsa 错觉轮廓图(如图 2)，每个错觉轮廓图由 4 个吃豆人(Pac-Man)组成，每个吃豆人的直径为 1.2 mm，错觉轮廓图视角为 4°。适应图片为胖或瘦的图形。将左上和右下的吃豆人按顺时针旋转 5°，左下和右上的吃豆人按逆时针旋转 5°，得到一个胖的错觉轮廓图，称之为+5°；反之得到一个瘦的错觉轮廓图，称之为−5°。测验图片的获得与此相同，只是旋转的角度不同，其度数在不同的实验中会有所不同。

2.1.4　实验程序

实验流程如图 2 所示：在每个试次的开始，呈现一个 5 s 的适应图片(+5°或−5°)，后面呈现一个 300 ms 的红色注视点，提示被试准备反应，注视点消失之后会呈现一个胖或瘦的测验图片(test)，图片分别为 0°、+ 1.5、−1.5°，最后是一个 2 s 的空屏。

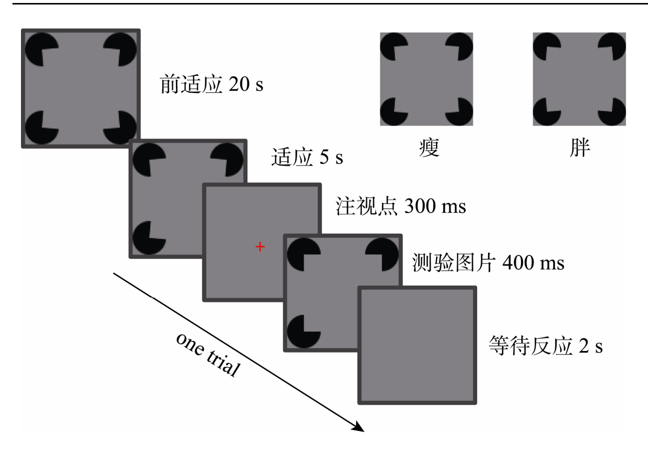


图 2　错觉轮廓的适应实验流程图

注：适应图片为胖(+5°)或瘦(−5°)的错觉轮廓图，测验刺激为 0°、±1.5°。要求被试对测验图片的胖瘦进行二择一的判断。

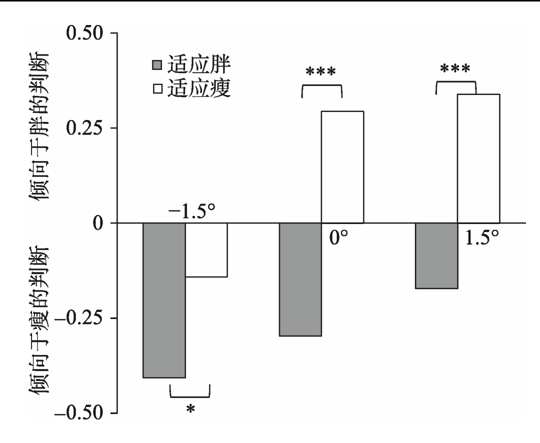


图 3　错觉轮廓的适应偏向图

注：我们用判断为胖的比率减去 0.5 来作适应偏向图，大于 0 表示偏向于胖的判断，小于 0 表示偏向于瘦的判断。其中*指 $p < 0.05$, ***$p < 0.001$

要求被试判断测验图片(test)的胖瘦，胖的按“F”键，瘦的按“J”键。实验采用模块(block)设计，共有 8 个模块，模块进行 ABBABAAB 平衡，每个模块有 48 个试次(trials)。

2.1.5　结果与分析

重复测量方差分析发现：适应类型的主效应显著，$F(1,9) = 26.87, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.74$，适应胖与适应瘦差异显著，说明被试对同一物理刺激的判断受到适应经验的影响，存在适应效应；测验类型主效应显著，$F(2,18) = 21.75, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.71$；适应类型和测验类型的交互作用显著，$F(2,18) = 20.60, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.76$。

简单效应分析发现：−1.5°时，适应胖的正确率显著大于适应瘦的正确率(M：0.91 > 0.64, $t(9) = 3.17, p < 0.05$)；1.5°时，适应胖的正确率显著小于适应瘦的正确率(M：0.33 < 0.84, $t(9) = -5.30, p < 0.001$)；0°时，适应胖和适应瘦之间存在显著差异(M：0.20 < 0.79, $t(9) = -6.51, p < 0.001$)，即对 0°而言被试倾向于做出与适应刺激相反的反应。

结果说明无论什么度数，被试对同一物理刺激的判断受到适应经验的影响，被试对错觉轮廓做出与适应刺激相反的反应，说明错觉轮廓具有适应效应。这里我们用适应偏向图来表示我们的结果，用判断为胖的比率减去 0.5 来作适应的偏向(如图 3)。

2.2　实验 1b：错觉轮廓在更大范围上的适应

以往关于线条朝向或者面孔朝向适应的研究，研究者通常会选择不同的测验角度。因此我们在实验 1a 的基础上进行了实验 1b。实验 1b 与实验 1a 不同之处在于测验度数范围更大，以此来考察错觉轮廓是否具有适应效应，是否能获得可重复的结果。

虽然以往没有关于 Kanizsa 错觉轮廓适应的研究，但我们的研究更接近于朝向的适应研究。朝向适应的研究(Caharel, Collet, & Rossion, 2015; He et al., 2012)所使用的测验刺激的水平较多，一般以 0°为分界，左右各取若干个水平作为测验刺激，并且测验刺激的度数通常小于适应刺激的度数。因此本实验的测验刺激有 4 种角度：+2.5°、−2.5°、+3.5°和−3.5°。

2.2.1　被试

10 名被试，均为东北师范大学在读大学生，其中男生 5 人女生 5 人，被试的视力或者矫正视力正常，无类似实验经历。实验前，每个被试均签订知情同意书，实验结束后给予被试相应的报酬。

2.2.2　实验设计

实验采用 2(适应类型：胖/瘦) × 4(测验类型：+2.5°/−2.5°/+3.5°/−3.5°)的实验设计。因变量为被试判断的正确率。

2.2.3　实验仪器与材料

实验仪器、实验材料的设置与实验 1a 相同。不同之处在于测验(test)图片的类型有 4 种：+2.5°、−2.5°、+3.5°和−3.5°。

2.2.4　实验程序

实验程序与实验 1a 相同。

2.2.5　结果与分析

重复测量方差分析发现：适应类型的主效应显著，$F(1,9) = 10.27, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.53$，适应胖瘦之间差异显著，说明被试对同一物理刺激的判断受到适应经验的影响，存在适应效应；测验类型主效应显著，$F(3,27) = 20.78, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.70$；适应类型和测验类型的交互作用显著，$F(3,27) = 29.13, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.76$。

简单效应分析发现：−3.5°时，适应胖的正确率显著大于适应瘦的正确率(M：0.98 > 0.91, $t(9)$ = 2.94, p < 0.05); −2.5°时，适应胖的正确率显著大于适应瘦的正确率(M：0.99 > 0.93, $t(9)$ = 2.62, p < 0.05); 2.5°时，适应胖的正确率显著小于适应瘦的正确率(M：0.62 < 0.92, $t(9)$ = −5.00, p < 0.001); 3.5°时，适应胖的正确率显著小于适应瘦的正确率(M：0.84 < 0.98, $t(9)$ = −4.96, p < 0.001)。

结果表明，即使在更大范围上，被试对测验刺激的判断也会受适应经验的影响，被试对错觉轮廓做出与适应刺激相反的反应，说明这种错觉轮廓的适应是非常强的。这里我们仍然用适应偏向图来表示我们的结果，用判断为胖的比率减去 0.5 来作适应偏向图(如图 4)。实验 1b 的结果与实验 1a 结果一同呈现，可作出如下适应量化图(如图 5)。

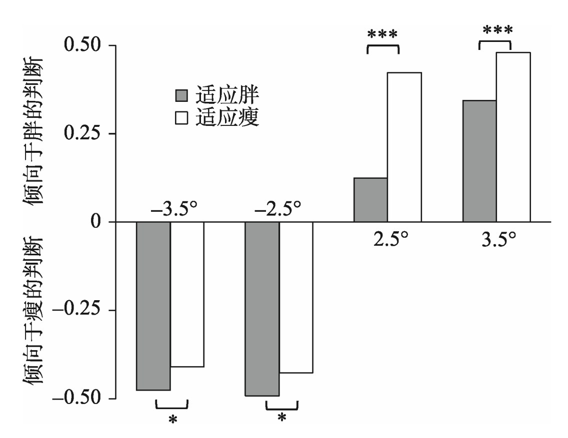


图 4　错觉轮廓在更大范围上的适应偏向图

注：我们用判断为胖的比率减去 0.5 来作适应偏向图，大于 0 表示偏向于胖的判断，小于 0 表示偏向于瘦的判断。其中*指 p < 0.05, ***p < 0.001

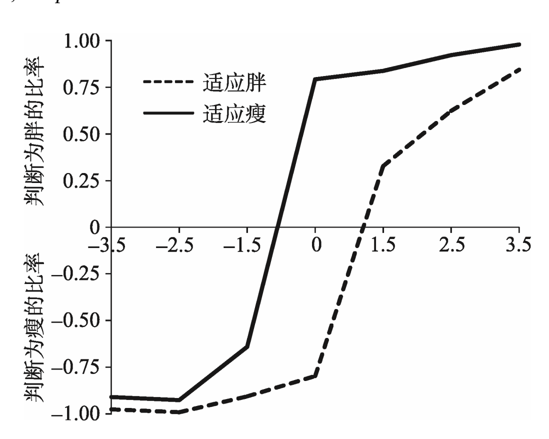


图 5　实验 1a 与实验 1b 结果量化图

注：横坐标表示的是测验图片胖瘦的度数，负值表示的是瘦图形，正值表示的是胖图形；纵坐标是对测验图片的判断，正值表示判断为胖的比率，负值表示判断为瘦的比率。实线表示适应瘦图形(+5°)的适应量化图，虚线表示适应胖图形(−5°)的适应量化图。

3　实验 2：错觉轮廓的适应是否是主观轮廓本身的适应

实验 1 结果表明错觉轮廓具有适应效应，但此效应是由主观轮廓还是吃豆人上的线条造成的？我们用实验 2 来解决这一问题。

实验 2 包括 2a 和 2b，分别考察适应局部线条和适应真实的整体轮廓时，对测验刺激(错觉轮廓)的反应偏向是否发生变化。如果发现适应真实的整体轮廓时存在适应效应，而适应局部线条时不存在适应效应，则说明只有对整体轮廓发生适应，才能影响到测验刺激的反应偏向。因此我们可以推论实验 1 所发现的错觉轮廓的适应主要来自于由反馈信号形成的整体轮廓，而非吃豆人上的线条。

3.1　实验 2a：局部线条的适应

3.1.1　被试

10 名被试，均为东北师范大学在读大学生，其中男生 5 人女生 5 人，被试的视力或者矫正视力正常，无类似实验经历。实验前，每个被试均签订知情同意书，实验结束后给予被试相应的报酬。

3.1.2　实验设计

本实验采用 2(适应类型：胖/瘦) × 4(测验类型：+1.5°/−1.5°/+2.5°/−2.5°)的实验设计。因变量为被试判断的正确率。

3.1.3　实验仪器与材料

实验仪器、实验材料的设置与实验 1a 相同。测验(test)材料将适应图片中的吃豆人改成了线条(如图 6)，线条旋转角度同实验 1a，线条的长度为 0.6 mm。测验(test)图片的类型有 4 种：+1.5°、−1.5°、+2.5°和−2.5°。

3.1.4　实验程序

实验程序同实验 1a。

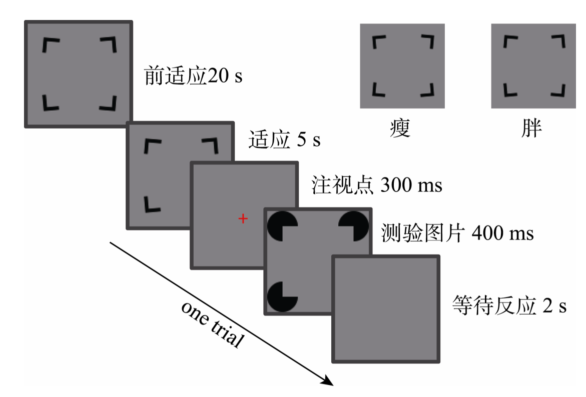


图 6　局部线条的适应实验流程图

注：适应图片为胖(+5°)或瘦(−5°)的线条图，测验刺激为±1.5°、±2.5°的错觉轮廓图片。要求被试对测验图片的胖瘦进行二择一的判断。

3.1.5　结果与分析

重复测量方差分析发现：适应类型的主效应不显著, $F(1,9) = 0.28$, $p > 0.05$; 测验类型主效应不显著, $F(3,27) = 2.12$, $p > 0.05$; 适应类型和测验类型的交互作用显著, $F(3,27) = 3.53$, $p < 0.05$, $\eta_p^2 = 0.72$。简单效应分析发现：无论任何度数，适应胖与适应瘦之间差异均不显著。

实验结果说明当适应的是吃豆人上的线条时(此时适应刺激难以形成轮廓)，对测验刺激的判断不受适应经验的影响，说明实验 1 中发现的适应效应不是由这些线条贡献的。这里我们用适应偏向图来表示我们的结果，用判断为胖的比率减去 0.5 来作适应偏向图(如图 7)。

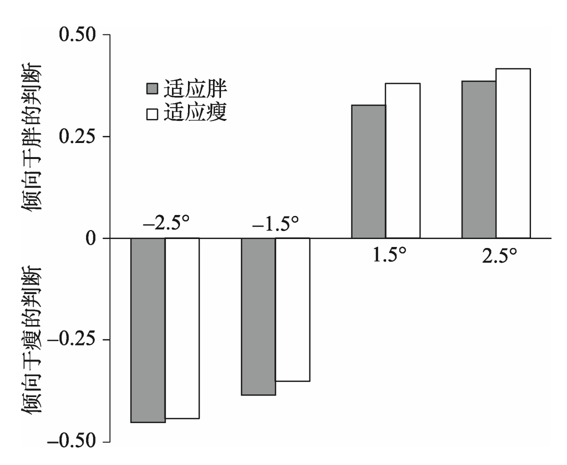


图 7　局部线条的适应偏向图

注：我们用判断为胖的比率减去 0.5 来作适应偏向图，大于 0 表示偏向于胖的判断，小于 0 表示偏向于瘦的判断。

3.2　实验 2b：真实的整体轮廓的适应

3.2.1　被试

10 名被试，均为东北师范大学在读大学生，其中男生 5 人女生 5 人，被试的视力或者矫正视力正常，无类似实验经历。实验前，每个被试均签订知情同意书，实验结束后给予被试相应的报酬。

3.2.2　实验设计

实验采用 2(适应类型：胖/瘦) × 4(测验类型：+1.5°/−1.5°/+2.5°/−2.5°)的实验设计。因变量为被试判断的正确率。

3.2.3　实验仪器与材料

实验仪器、实验材料的设置与实验 1a 相同。测验(test)材料将适应图片中的轮廓改成了真实的形状(如图 8)。测验(test)图片的类型有 4 种：+1.5°、−1.5°、+2.5°和−2.5°。

3.2.4　实验程序

实验程序与实验 1a 相同。

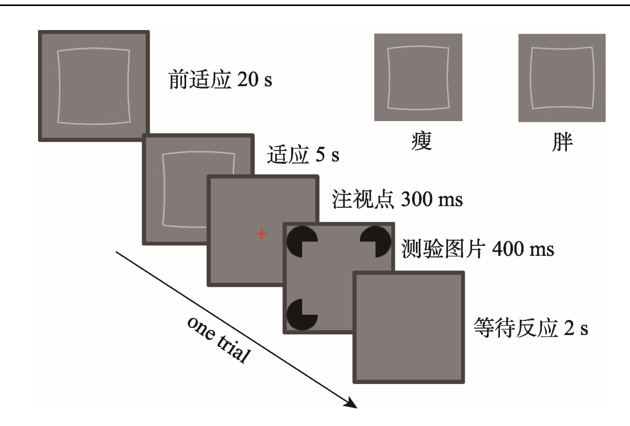


图 8　真实的整体轮廓的适应实验流程图

注：适应图片为胖(+5°)或瘦(−5°)的真实形状，测验刺激为±1.5°、±2.5°的错觉轮廓。要求被试对测验图片的胖瘦进行二择一的判断。

3.2.5　结果与分析

重复测量方差分析发现：适应类型的主效应不显著, $F(1,9) = 1.06$, $p > 0.05$; 测验类型主效应显著, $F(3,27) = 7.85$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.47$; 适应类型和测验类型的交互作用显著, $F(3,27) = 20.20$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.69$。

简单效应分析发现：−2.5°时，适应胖的正确率与适应瘦的正确率差异不显著(M: 0.98 < 0.99, $t(9) = -1.00$, $p > 0.05$); −1.5°时，适应胖的正确率显著大于适应瘦的正确率(M: 0.95 > 0.89, $t(9) = 3.88$, $p < 0.01$); 1.5°时，适应胖的正确率显著小于适应瘦的正确率(M: 0.87 < 0.96, $t(9) = -4.28$, $p < 0.01$); 2.5°时，适应胖的正确率显著小于适应瘦的正确率(M: 0.84 < 0.98, $t(9) = -2.26$, $p < 0.05$)。

结果表明，除了−2.5°之外，被试对测验刺激的判断受到适应经验的影响，被试对错觉轮廓做出与适应刺激相反的反应，表明存在从真实形状到主观轮廓的适应。

实验 2 考察了适应局部线条(实验 2a)和适应真实的整体轮廓(实验 2b)时，被试对测验刺激即错觉轮廓的反应偏向。发现适应真实整体形状时，被试对错觉轮廓做出与适应刺激相反的反应，而适应局部线条时，对错觉轮廓的反应不受适应刺激的影响。实验 2a 和实验 2b 一起说明我们在实验 1 中观察到的错觉轮廓的适应不是由吃豆人上的线条引起的，而是主观轮廓的适应。这里我们用适应偏向图来表示结果，用判断为胖的比率减去 0.5 作适应偏向图(如图 9)。

4　总讨论

本研究采用 Kanizsa 错觉轮廓来考察建构这种

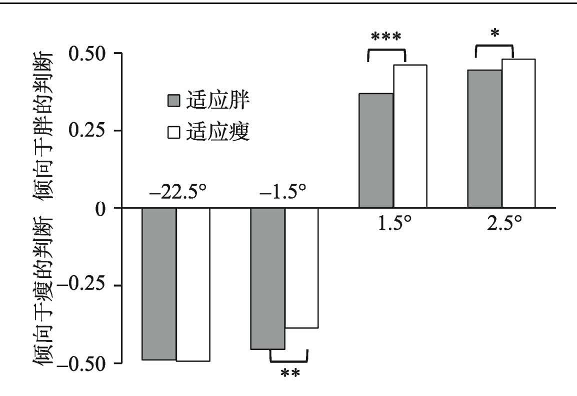


图 9　真实的整体轮廓的适应偏向图

注：我们用判断为胖的比率减去 0.5 来作适应偏向图，大于 0 表示偏向于胖的判断，小于 0 表示偏向于瘦的判断。其中*指 $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

自上而下的信号随时间的变化过程，结果清楚地表明 Kanizsa 这种最经典的错觉轮廓具有适应效应，并且这种适应主要是由错觉轮廓本身造成的，而不是由 Pac-Man 上的线条引起的。He 等人 2012 年关于知觉整合(grouping)的研究采用由几个独立的边整合成的四边形做为实验材料，揭示出知觉的组织过程具有适应效应(He et al., 2012) 。但与知觉组织相比，Kanizsa 错觉轮廓不仅需要将离散的形状整合成统一的整体，而且会形成物理上并不存在的主观线条，而且对轮廓形状的胖和瘦的判断更加依赖于被试对这些主观线条的知觉，而这一知觉几乎完全依赖于我们的主观建构，实验结果有力地说明来自于高级视觉皮层的反馈信息和其它神经元信息一样，会随时间的增加，神经活动减弱，产生适应效应。

研究这种自上而下反馈信号的适应效应，有助于人们更加全面的了解适应这一现象。以往研究发现，在无意识条件下，如采用双眼竞争或拥挤的范式使光栅朝向不可见，这时只有自下而上的信号，缺少自上而下的反馈信息，适应效应依然存在(Blake, Tadin, Sobel, Raissian, & Chong, 2006; Rajimehr et al., 2003)，说明适应可以独立于高级反馈信息的调节，而本研究的结果表明当缺少自下而上的信息传入而几乎只有自上而下的反馈信号时依然能够产生适应，比现有文献更进一步说明适应乃是神经元的自发行为，和神经信号的来源无关，也暗示适应是几乎所有神经系统的普遍属性(Fang & He, 2005)，可能是视觉系统的内在功能，从视觉加工的低级脑区到高级脑区都存在视觉适应(高忆, 鲍敏, 2015)。

高级视觉皮层的反馈信息的强度会随时间的变化发生衰减，这种衰减体现了我们神经系统编码的有效性(Clifford et al., 2007; Wainwright, 1999; Wark, Lundstrom, & Fairhall, 2007)。自然界分布的信号是非常丰富广泛的，而我们人类的神经系统的资源却是非常有限的，适应过程中神经信号的衰减有助于神经系统检测更新奇的刺激(Gardner et al., 2005; Barlow, 1990; Ranganath & Rainer, 2003)，具有生态效益。本研究中的适应效应表明，人类视觉系统不仅对客观存在的客体能够发生适应，对客观上不存在的、需要我们主动构建的刺激同样能够发生适应，这有助于我们的大脑节约资源，用于加工对我们的生存和适应更为重要的新异刺激。

实验结果发现高水平的轮廓形状具有适应效应，而 Pac-Man 上低水平的线条不存在适应效应。那么这种结果有何意义呢？这不仅仅说明我们观察到的轮廓适应效应主要是由建构的整体形状导致，而非 Inducer 引起的，同时也从侧面反映了在视觉系统各个区域中信息交流相互影响的动态过程。例如，预测编码模型(Friston, 2010; He et al., 2012; Mumford, 1992; Rao & Ballard, 1999)强调反馈信息可以减弱低级区域的活动。更高的区域积极尝试“解释”并通过反馈预测在较低区域的活动。很多预测编码模型包括一个减法比较的机制，即高级区域的预期信号向下传递与感觉输入的低级区域信号进行比较，如两者匹配则相减，导致低级区域的活动减弱。就我们的实验刺激而言，当高水平的区域(LOC 区)形成错觉轮廓表征的时候，这种对刺激图像的“预期”或“理解”被发送回了表征 Pac-man 线条以及表征轮廓腰部的低级区域(如 V1、V2 区)(Halgren, Mendola, Chong, & Dale, 2003; Harris, Schwarzkopf, Song, Bahrami, & Rees, 2011; Murray et al., 2002; Wokke et al., 2013)，减法发生在表征 Pac-man 线条的区域，而未发生在表征轮廓腰部的区域，因为前者的自下而上信号与反馈信号一致，因此我们主要观察到了整体轮廓的适应效应，而未观察到 Pac-Man 线条的适应效应。

之前关于 Kanizsa 错觉轮廓的研究基本用有错觉轮廓的刺激和无轮廓的刺激相比较而得到的，但是这种条件下得到的，由错觉轮廓引起的皮层区域内的神经活动的整体净增量，可能是也可能不是错觉轮廓本身的加工所造成的(Montaser-Kouhsari et al., 2007)。第一，错觉轮廓和其控制条件的任何一种差异(吃豆人开口向里还是向外的方向或者是空间频率的不同)都可能会影响激活的整体水平，从而混淆结果的解释。第二，错觉轮廓是人们感兴趣的视

觉错觉，神经活动的注意调节可能会混淆对结果的解释(Huk, Ress, & Heeger, 2001)。而适应实验克服了这两个缺点，因为适应使用的都是有轮廓的刺激，那么各个条件间空间注意就相等了(Larsson & Heeger, 2006)。我们的结果表明 Kanizsa 类型的错觉轮廓具有适应效应，这就为未来研究 Kanizsa 类型的错觉轮廓加工提供了一个更好的研究方法。

不同类型的自上而下的反馈信号可能有不同的神经机制，即使得出 Kanizsa 类型这种反馈信号具有适应效应，我们也不能得出所有的反馈信号的加工都具有适应效应。本研究所得出的结论仅限于 Kanisa 类型的错觉轮廓，将来需要进一步考察其它类型自上而下信号的适应效应。

参 考 文 献

Barlow, H. (1990). Conditions for versatile learning Helmholt's unconscious inference, and the task of perception. *Vision Research, 30*, 1561–1571.

Bell, J., Gheorghiu, E., Hess, R. F., & Kingdom, F. (2011). Global shape processing involves a hierarchy of integration stages. *Vision Research, 51*, 1760–1766.

Ben-Av, M. B., Sagi, D., & Braun. (1992). Visual attention and perceptual grouping. *Perception & Psychophysics, 52*, 277–294.

Blake, R., Tadin, D., Sobel, K. V, Raissian, T. A., & Chong, S. C. (2006). Strength of early visual adaptation depends on visual awareness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 103*, 4783–4788.

Caharel, S., Collet, K., & Rossion, B. (2015). The early visual encoding of a face (N170) is viewpoint-dependent: A parametric ERP-adaptation study. *Biological Psychology, 106*, 18–27.

Clifford, C. W. G., Webster, M. A., Stanley, G. B., Stocker, A. A., Kohn, A., Sharpee, T. O., & Schwartz, O. (2007). Visual adaptation: Neural, psychological and computational aspects. *Vision Research, 47*, 3125–3131.

Fang, F., & He, S. (2005). Viewer-centered object representation in the human visual system revealed by viewpoint aftereffects. *Neuron, 45*, 793–800.

Friston, K. (2010). The free-energy principle: A unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience, 11*, 127–138.

Gao, Y., & Bao, M. (2015). Visual adaptation and its neural mechanisms. *Advances in Psychological Science, 23*, 1142–1150.

[高忆，鲍敏. (2015). 视觉适应及其神经机制. *心理科学进展, 23*, 1142–1150.]

Gardner, J. L., Sun, P., Waggoner, R. A., Ueno, K., Tanaka, K., & Cheng, K. (2005). Contrast adaptation and representation in human early visual cortex. *Neuron, 47*, 607–620.

Gheorghiu, E., Bell, J., & Kingdom, F. A. A. (2013). Line orientation adaptation: Local or global?. *PLoS One, 8*, e73307.

Gheorghiu, E., & Kingdom, F. A. A. (2007). The spatial feature underlying the shape-frequency and shape-amplitude after-effects. *Vision Research, 47*, 834–844.

Gibson, J. J. (1937). Adaptation, after-effect, and contrast in the perception of tilted lines. II. Simultaneous contrast and the areal restriction of the after-effect. *Journal of Experimental Psychology, 20*, 553–569.

Graham, A., & Bell, R. (1989). Investigating observer bias in aerial survey by simultaneous double- counts. *Journal of Wildlife Management,53*, 1009-1016.

Halgren, E., Mendola, J., Chong, C. D. R., & Dale, A. M. (2003). Cortical activation to illusory shapes as measured with magnetoencephalography. *NeuroImage, 18*, 1001–1009.

Hancock, S., & Peirce, J. W. (2008). Selective mechanisms for simple contours revealed by compound adaptation. *Journal of Vision, 8*, 1–10.

Harris, J. J., Schwarzkopf, D. S., Song, C., Bahrami, B., & Rees, G. (2011). Contextual illusions reveal the limit of unconscious visual processing. *Psychological Science, 22*, 399-405.

He, D., Kersten, D., & Fang, F. (2012). Opposite modulation of high- and low-level visual aftereffects by perceptual grouping. *Current Biology, 22*, 1040–1045.

Huk, A. C., Ress, D., & Heeger, D. J. (2001). Neuronal basis of the motion aftereffect reconsidered. *Neuron, 32*, 161–172.

Kanizsa, G. (1955). Margini quasi-percettivi in campi con stimolazione omogenea. *Rivista di Psicologia, 49*, 7–30.

Kok, P., & Lange, F. P. (2014). Shape perception simultaneously up- and downregulates neural activity in the primary visual cortex. *Current Biology, 24*, 1531–1535.

Kovács, G., Zimmer, M., Bankó, E., Harza, I., Antal, A., & Vidnyánszky,. (2006). Electrophysiological correlates of visual adaptation to faces and body parts in humans. *Cerebral Cortex, 16*, 742–753.

Kovács, G., Zimmer, M., Harza, I., & Vidnyánszky, Z. (2007). Adaptation duration affects the spatial selectivity of facial aftereffects. *Vision Research, 47*, 3141–3149.

Larsson, J., & Heeger, D. J. (2006). Two retinotopic visual areas in human lateral occipital cortex. *The Journal of Neuroscience, 26*, 13128–13142.

Montaser-Kouhsari, L., Landy, M. S., Heeger, D. J., & Larsson, J. (2007). Orientation-selective adaptation to illusory contours in human visual cortex. *The Journal of Neuroscience, 27*, 2186–2195.

Mumford, D. (1992). On the computational architecture of the neocortex II. The role of cortico cortical loops. *Biological Cybernetics, 66*, 241–251.

Murray, M. M., & Herrmann, C. S. (2013). Illusory contours: A window onto the neurophysiology of constructing perception. *Trends in Cognitive Sciences, 17*, 471–481.

Murray, M. M., Wylie, G. R., Higgins, B. A., Javitt, D. C., Schroeder, C. E., & Foxe, J. J. (2002). The spatiotemporal dynamics of illusory contour processing: Combined high-density electrical mapping, source analysis, and functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience, 22*, 5055–5073.

Palmer, S. E., Brooks, J. L., & Nelson, R. (2003). When does grouping happen? *Acta Psychologica, 114*, 311–330.

Paradiso, M. A., Shimojo, S., & Nakayama, K. (1989). Subjective contours, tilt aftereffects, and visual cortical organization. *Vision Research, 29*, 1205–1213.

Rajimehr, R., Montaser-Kouhsari, L., & Afraz, S.R. (2003). Orientation-selective adaptation to crowded illusory lines. *The Journal of Neuroscience, 32*, 1199–1211.

Ranganath, C., & Rainer, G. (2003). Neural mechanisms for detecting and remembering novel events. *Nature Reviews Neuroscience, 4*, 193–202.

Rao, R. P. N., & Ballard, D. H. (1999). Predictive coding in the visual cortex: A functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects. *Nature Neuroscience,*

2, 79–87.

Rentzeperis, I., Nikolaev, A. R., Kiper, D. C., & van Leeuwen, C. (2012). Relationship between neural response and adaptation selectivity to form and color: An ERP study. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*, 1–13.

Ross, J., Speed, H. D., & Morgan, M. J. (1993). The effects of adaptation and masking on incremental thresholds for contrast. *Vision Research, 33*, 2051–2056.

Schumann, F. (1900). Beitrage zur analyse dergesichtswhgen. Erste abhandlung. Einige beobachtungen über die zusammenfassung von gesichtseindruken zu einheiten. *Zeitschrift Für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, 23*, 1–32.

Suzuki, S. (2003). Attentional selection of overlapped shapes: A study using brief shape aftereffects. *Vision Research, 43*, 549–561.

Wainwright, M. J. (1999). Visual adaptation as optimal information transmission. *Vision Research, 39*, 3960–3974.

Walther, C., Schweinberger, S. R., & Kovács, G. (2013). Adaptor identity modulates adaptation effects in familiar face identification and their neural correlates. *PLoS One, 8*, e70525.

Wark, B., Lundstrom, B. N., & Fairhall, A. (2007). Sensory adaptation. *Current Opinion in Neurobology, 17*, 423–429.

Wenderoth, P., & Johnstone, S. (1988). The different mechanisms of the direct and indirect tilt illusions. *Vision Research, 28*, 301–312.

Wokke, M. E., Vandenbroucke, A. R. E., Scholte, H. S., & Lamme, V. A. F. (2012). Confuse your illusion: Feedback to early visual cortex contributes to perceptual completion. *Psychological Science, 24*, 63–71.

The adaptation to Kanizsa-type illusory contours

ZHANG Xiuling[1]; HOU Yanan[1]; ZHANG Fuxu[1]; MEI Songli[2]; KANG Jingmei[1]

([1] *School of Psychology, Northeast Normal University, Changchun* 130024, *China*)

([2] *School of Public Health, Jilin University, Changchun* 130021, *China*)

Abstract

One grouping principle of visual perception is to integrate spatially separated and partially occluded local parts into whole object representations. For example, in the processing of Kanizsa-type illusory contours (ICs), a subjective shape contour is perceived despite the inducers being isolated. The shape discrimination of the Kanizsa illusory contours depends on feedback signals in the brain. Thus, investigations of the adaptation to Kanizsa illusory contours can help us understand the temporal properties of top-down signals in the visual system.

In the present study, four experiments were conducted to explore the adaptation to Kanizsa illusory contours. Participants adapted to +5° and −5° illusory contours in experiments 1a and 1b. In experiments 2a and 2b, in order to eliminate the possibility that the adaptation effect could be explained by the lines on the inducers, the inducer lines (experiment 2a) or the whole shape (experiment 2b) was used as the adapting images. For all of the experiments, illusory contours of varied degrees were used as test images. Subjects were instructed to respond as accurately and quickly as possible to the test images to judge whether they were fat or thin.

When adapting to fat illusory contours, the participants tended to perceive the following tests as thin; on the contrary, when adapting to thin contours, they tended to perceive the test images as fat. These results showed significant adaption effect of Kanizsa contours. Further control experiments (2a and 2b) indicated that the adaptation effect was mainly caused by the illusory contour itself, rather than by the lines on the Pac-Man.

These results revealed that adaptation effect existed in voluntary construction processes, indicating that the strength of feedback signals from higher-level visual cortex could become weak over time.

Key words　Kanizsa illusory contour; feedback signals; adaptation